

黄河口凹陷古近纪构造坡折带对沉积体系的控制

张新涛¹⁾, 周心怀¹⁾, 牛成民¹⁾, 刘豪²⁾, 魏文艳³⁾

1) 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 渤海油田勘探开发研究院, 天津塘沽, 300452;

2) 中国地质大学海洋学院, 北京, 100083;

3) 中海油能源发展股份有限公司钻采工程研究院, 天津塘沽, 300452

内容提要:坡折带类型、分布对沉积体系具有明显控制作用。通过对黄河口凹陷古近系层序构成样式和沉积充填研究, 结果表明: ① 在盆地幕式断陷活动和同沉积断裂差异活动等构造作用下, 形成了断裂坡折和挠曲坡折 2 种类型的构造坡折带。断裂坡折可以进一步分为断阶坡折、帚状坡折和断裂转换带坡折, 不同类型构造坡折带对沉积体系具有明显控制作用。② 断阶坡折控制了陡坡带扇三角洲、缓坡带辫状河三角洲沉积体系的形成和分布; 帚状坡折控制了沉积体系入湖方向和沉积厚度; 断裂调节带控制了辫状河三角洲、湖底扇沉积体系的形成和分布; 挠曲坡折控制了辫状河三角洲沉积体系的分布。③ 构造坡折控制不同类型的圈闭组合, 断阶坡折带发育断块型圈闭、岩性上倾尖灭圈闭; 帚状坡折带发育掀斜断块圈闭; 断裂转换带发育岩性上倾尖灭圈闭、断鼻-岩性圈闭; 挠曲坡折带发育地层超覆圈闭。不同类型坡折带对沉积体系的控制为下一步中深层油气勘探指明方向。

关键词:黄河口凹陷; 构造坡折; 断裂调节带; 控砂模式

沉积体系的分布与预测一直是沉积盆地分析的重要内容。近些年, “构造地层学”或“构造沉积学”的研究已成为国际上沉积盆地分析的热点, 并对我国东部陆相断陷盆地砂体分布预测具有指导意义 (Bryan and Jason, 2002; Pavelicd, 2001; Hans et al., 2002; Vincenzo et al., 2006)。随着中国学者对断陷盆地层序地层学的深入研究, 研究方法引入渤海湾盆地, 用以建立等时地层格架和进行砂体预测, 提出了“构造坡折带控制层序低位域砂体”的理论, 随后又被概括为“断坡控砂”理论 (林畅松等, 2000; 姜秀芳等, 2002)。该理论对断陷盆地发育的各类坡折带类型及其对砂体发育控制作用进行研究, 进一步丰富了中国陆相盆地层序地层理论, 成为中国陆相断陷盆地隐蔽圈闭勘探理论的重要组成部分。

黄河口凹陷是渤海油田南部重要富油气凹陷之一。80 年代初, 以古近系为主的勘探时期, 在黄河口凹陷中央隆起带发现了渤中 34-2/4 和渤中 28-1 等中、深层油田。近年来, 受地质资料品质、埋深的影响, 中深层油气勘探没有获得大的突破, 关键原因

之一是储集层预测困难 (徐长贵等, 2004)。勘探实践表明, 黄河口凹陷古近系构造活动对层序构成样式、沉积体系特征, 特别是砂砾岩体的分布具有重要的控制作用, 但从构造坡折带对沉积体系分布的控制角度展开系统的研究相对薄弱。本文充分利用钻井、测井和地震等资料, 系统总结构造坡折带的类型, 研究不同构造背景下的坡折带对层序和沉积体系的控制作用和规律, 建立研究区坡折带控砂模式, 并分析了不同构造坡折带所形成的圈闭类型, 对该区中深层油气勘探具有现实指导意义。

1 地质概况

黄河口凹陷位于渤海湾盆地济阳坳陷的东北部, 北侧为渤南低凸起, 南侧为垦东-青坨子凸起和莱北低凸起, 东侧为庙西凹陷, 西邻沾化凹陷, 凹陷总面积约 3309 km²。郯庐断裂西支穿过凹陷中部, 古近纪一现今构造面貌表现为西深东浅、北陡南缓、凹中有隆、断裂发育, 总体上为北断南超的箕状凹陷。二级构造单元可划分为渤中 25-1 构造带、西北次洼、西南次洼、西南缓坡带、中央隆起带、东次洼、

注: 本文为中海石油(中国)重大基础研究项目“渤海海域油气形成富集与分布预测”(SC06TJ-TQL-004)资助的成果

收稿日期: 2012-12-21; 改回日期: 2013-11-13; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 张新涛, 男, 1978 年生。博士, 渤海油田勘探开发研究院地质工程师。主要从事油气勘探研究。通讯地址: 300452, 天津市塘沽区闸北路 609 信箱; Email: zxt198108@163.com。

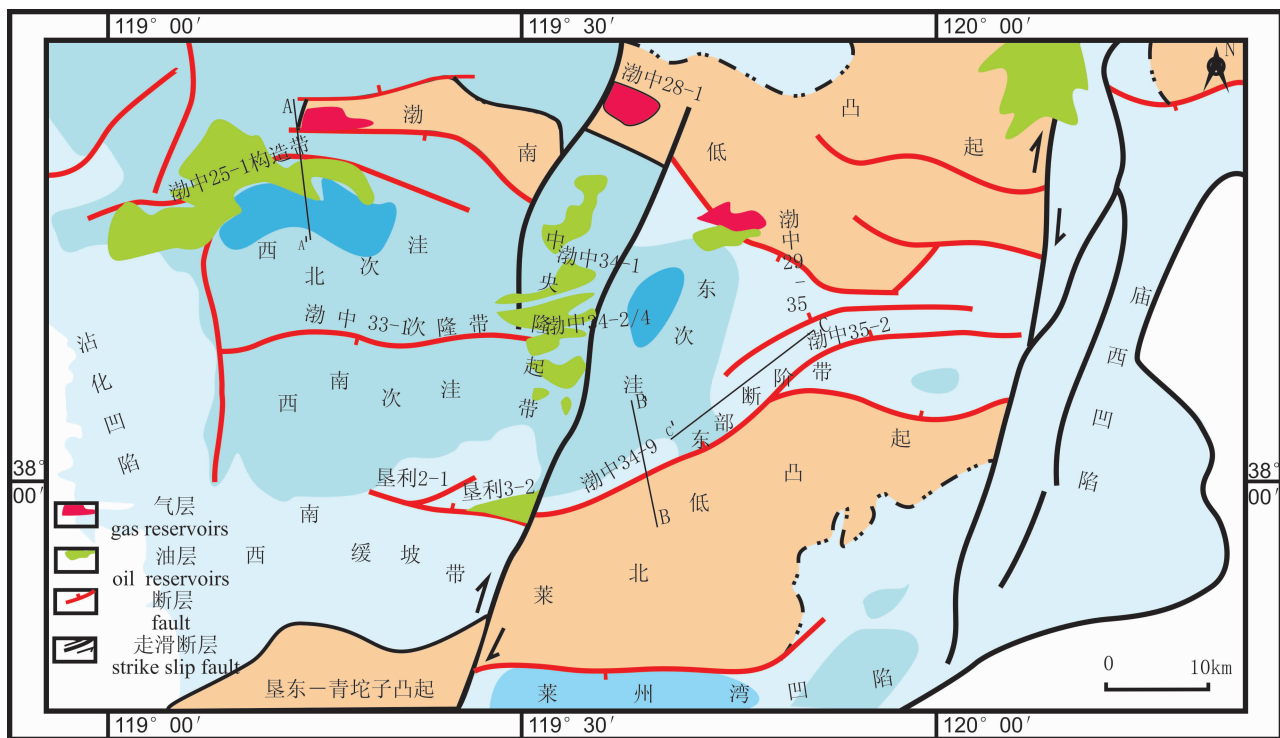


图 1 黄河口凹陷构造单元划分图

Fig. 1 The structural division and its location of the Sag of the Yellow River estuary

东部断阶带等(图1)。

2 构造演化及沉积物充填特征

黄河口凹陷新生代构造运动经历了古近纪的裂陷期和新近纪的裂后拗陷期。裂陷期进一步可划分为初始断陷、扩张断陷、稳定发展、衰减 4 个阶段(徐长贵等, 2004)。在其控制下, 黄河口凹陷古近系经历了古新世晚期、始新世早期断陷 I、II 幕[孔店组—沙四段(沙河街组四段, 后同)], 始新世中期断陷 III 幕(沙三段), 始新世晚期、渐新世断陷 IV 幕(沙一段、沙二段、东营组) 4 个构造演化阶段, 各演化阶段具有不同的沉积体系类型和分布样式(图 2)。

断陷 I、II 幕(孔店组和沙四段沉积时期): 对应区域的初始断陷期, 由于长期风化剥蚀、基底强烈的差异沉降使研究区呈现凹凸相间的沉积格局。此时盆地结构比较简单, 发育陡坡断阶型坡折和简单缓坡。这些次级地貌单元控制了孔店组、沙四段沉积体系类型与分布, 仅在西北次洼、西南次洼和东北洼发育了近源冲积扇、冲积平原和滨浅湖。

断陷Ⅲ幕(沙三段沉积时期):对应区域的断陷扩张期,层序上低位体系域主要由大型低位扇和下

切谷组成,反映构造活动强烈,物源区地形起伏高差大、盆缘陡的特征。来自渤南低凸起、垦东凸起物源丰富,陡坡和缓坡分别发育大规模的扇三角洲和辫状河三角洲沉积体系。

断陷Ⅳ幕(沙一、二段、东营组沉积时期):对应区域的断陷稳定发展、衰减期,盆地整体沉降增强,差异断陷活动减弱。陡坡带持续发育扇三角洲沉积体系,表明来自渤南低凸起的物源仍然充足,而南部缓坡带主要发育大型辫状河三角洲沉积体系,随着湖盆基底的差异活动进一步减弱,辫状河三角洲体系的规模迅速减小,高位体系域更是以发育滨岸砂坝和滩坝砂为特征,反映南部呈东凸起物源供给能力逐渐减弱,陆源供给相对缺乏。

3 构造坡折带类型及其对沉积体系控制

坡折带(slope break)作为一个重要的层序地层学术语,首先被应用于解释被动大陆边缘盆地有陆架坡折层序体系域构成模式(Van Wagoner, 1990),认为坡折带之下是低位楔、低位扇发育的主要部位,也是岩性油气藏形成的主要部位。对于发育同沉积断裂的陆相断陷盆地,同沉积断裂带的作用类似于

分 类			相类型	示意图	特征	实例
构造坡折带	断裂坡折带	断阶型坡折带	扇三角洲 辫状河三角洲		由两条或者两条以上同向同沉积断层构成阶梯式,沉积砂体受断层逐级控制	渤中25-1 渤中27-2 渤中27-4 渤中34-9
		帚状断裂坡折带	扇三角洲 辫状河三角洲		由一条主干断裂向一侧发散形成多条小断层,次级断层控制砂体分布	垦利4-3
		断裂转换坡折带	湖底扇 辫状河三角洲		由两条同向断层过渡位置,砂体厚度大	垦利2-1区 渤中33-1区
	挠曲坡折		辫状河三角洲		受早期断裂/古隆起形成地层挠曲形成,具有继承性、间歇性	西南次洼东营组辫状河三角洲

图 3 黄河口凹陷构造坡折带类型及分布

Fig. 3 The distribution and the type of tectonic slope-break in the Sag of the Yellow River estuary

近东西向控洼同沉积断层,且断层均表现为东强西弱、交替出现;在两条同沉积断裂交汇处易形成断裂转换带,如垦利 2-1 构造、垦利 3-1 构造。断裂调节带控制了低位辫状河三角洲沉积体系的入湖方向。盆内断裂转换带主要发育在沙河街组三段沉积中期,受走滑断裂活动影响,在湖盆中心的渤中 33-1 构造带发育一系列断裂转换带坡折,盆内断裂转换带坡折不仅控制了圈闭发育,也控制湖底扇分布规律,最大湖底扇面积超过 50 km²。

3.3 挠曲坡折

挠曲坡折带是由于同期深部断裂活动使浅部地层发生挠曲变形而产生的,或是由于同沉积褶皱活动形成的背斜或鼻状构造的两翼挠曲而产生(龙更生等, 2009)。其主要标志是坡度突变,在坡折带下部有明显的上超和地层增厚现象,在坡折带上部可见地层削蚀现象。黄河口凹陷 BZ29-35 区为继承性古隆起发育地区。由于古隆起的存在与不断生长,往往容易在隆起的边缘产生差异沉降,为坡折带的形成创造有利条件。渤中 35-2 构造西侧沙河街组、东营组构造背景西低东高、地层西厚东薄,在古隆起边缘部位地层发生明显加厚,并在坡折下方出现超覆特征,来自于渤南低凸起的大型辫状河三角洲在坡折附近卸载、沉积(图 4c)。而古沟谷控制辫状河三角洲前缘水下分流河道沉积,在主河道两侧,由于高能水流对下伏湖相泥岩的冲刷、侵蚀作用,导致水

下分流河道砂体与围岩之间不同岩相类型砂体差异明显,水下分流河道向下嵌入泥质沉积地层之中,为河道间沉积。在挠曲坡折带的前方,辫状河三角洲前缘砂体呈片状、朵叶状分布。

3.4 控砂模式

断陷稳定发展期是构造坡折带的主要发育期,对层序和沉积体系的控制明显(冯有良等,2001;李群等,2003)。在综合分析层序格架、沉积体系和构造坡折带的基础上,建立了黄河口凹陷沙一、二段沉积时期的构造坡折带控砂模式(图 5)。

断陷Ⅳ幕,黄河口凹陷在渤南低凸起边界断层控制下发生断陷活动,构造活动强烈,物源区地形起伏高差大、盆缘陡,来自渤南低凸起物源丰富。在陡坡一侧,来自渤南低凸起的碎屑物质垂直于断层进入黄河口凹陷,大规模的扇三角洲砂体的展布主要受陡坡断阶型构造坡折带的控制,断阶控制了扇三角洲的分布及扇三角洲前缘的加厚带。在西南缓坡带,垦东凸起的碎屑物质主要受断裂转换带控制,水系携带的大量沉积物从转换带向盆地方向卸载,形成辫状河三角洲沉积;在东南缓坡带,沉积体系受帚状坡折和多级坡折控制,帚状坡折主断裂常控制着粗碎屑供给水系的方向,而缓坡带多级断阶控制着辫状河三角洲前缘砂体分布、相类型。挠曲坡折主要分布在渤中 29-35 区,受古隆起作用影响,渤南低凸起的大型辫状河三角洲在坡折下方卸载、沉积。

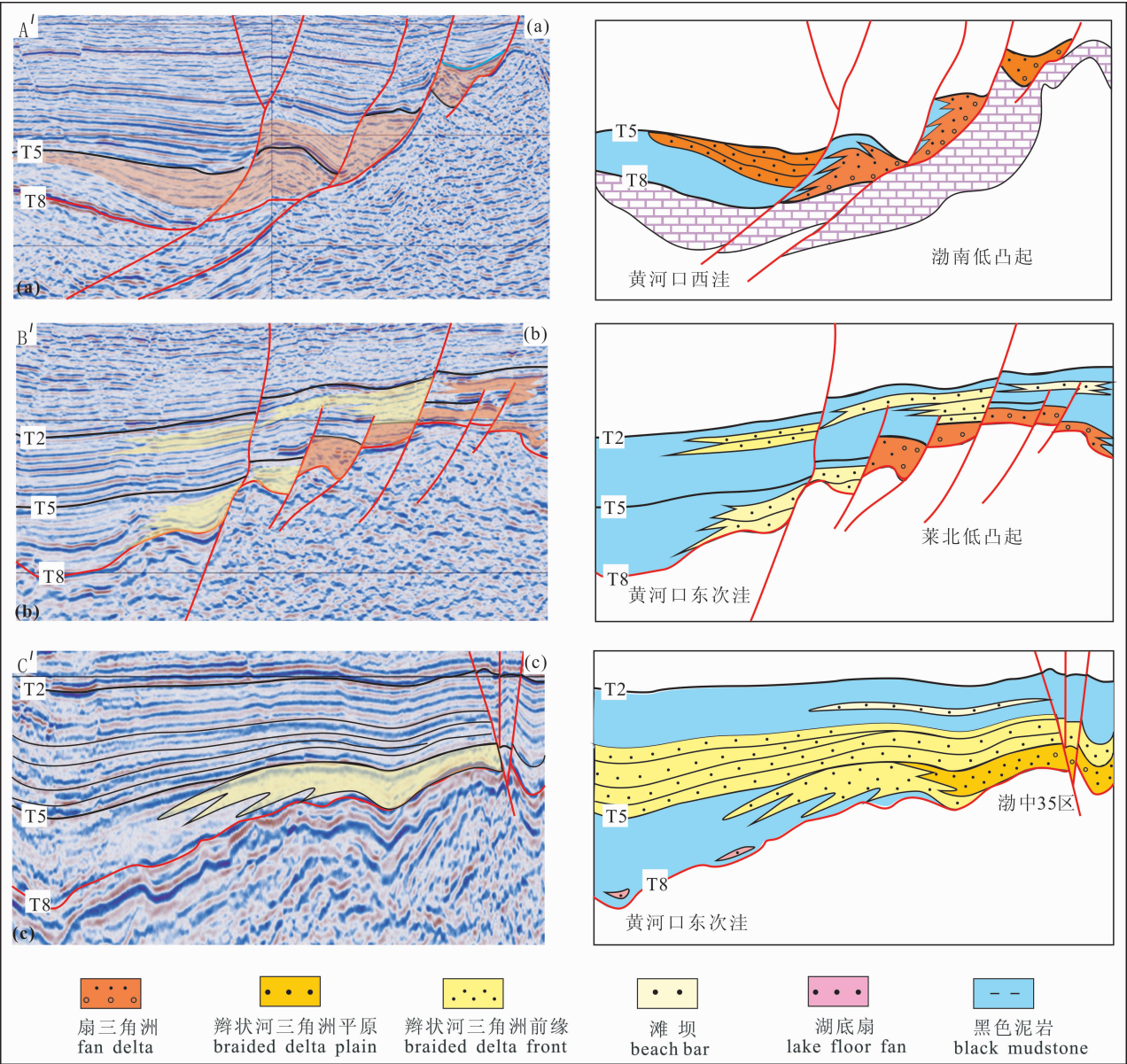


图4 黄河口凹陷构造坡折层序结构(a)陡坡断阶坡折;(b)缓坡断阶坡折;(c)挠曲坡折

Fig.4 The sequence structure of tectonic slope-break in Sag of the Yellow River estuary

(a) The abrupt fault-terrace slope-break;(b)the gentle fault-terrace slope-break ;(c) flexure slope-break

另外,黄河口凹陷湖盆中心渤中 33-1 构造带附近发育的断裂转换带控制大规模湖底扇沉积。

4 构造坡折带控制下的圈闭分布模式

不同的构造坡折带控制着沉积体系类型、砂体分布,进而形成了相应的圈闭分布模式。

(1)断阶坡折圈闭分布模式。陡坡断阶坡折控制沉积砂体类型主要为近岸水下扇、扇三角洲,可形成大规模的断层—岩性圈闭,如渤中 25-1 构造;缓坡多级断阶坡折控制了冲积扇、辫状河三角洲沉积

体系,可形成断块型圈闭、岩性上倾尖灭圈闭,如渤中 34-9 构造。

(2)断裂转换带圈闭分布模式。西南缓坡带和渤中 33-1 构造带发育的断裂转换带分别控制了辫状河三角洲、湖底扇沉积,在该区域可形成砂岩透镜体、岩性上倾尖灭、断层—岩性以及断鼻—岩性圈闭等多种圈闭类型。渤中 33-1 构造带断裂转换带控制的湖底扇规模大,为有利勘探前景区。

(3)挠曲坡折圈闭分布模式。黄河口凹陷渤中 29-35 区受古隆起差异沉降作用在坡折下方为地层

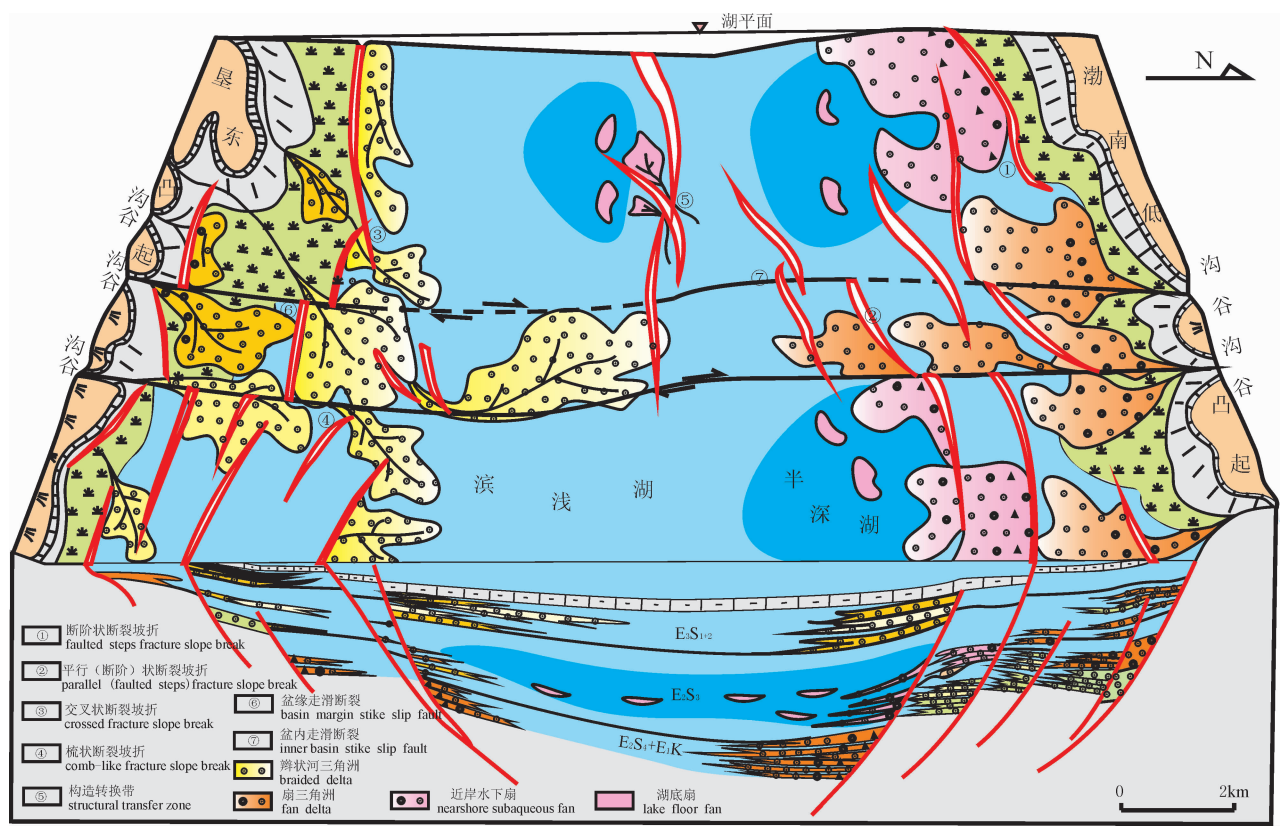


图 5 黄河口凹陷主断陷期坡折控砂模式

Fig. 5 The controlling of tectonic slope-break zones on sand-bodies of the main faulted period in the Sag of the Yellow River estuary

超覆特征,大型辫状河三角洲沉积体系在坡折附近卸载、沉积,容易形成地层超覆圈闭、岩性上倾尖灭圈闭。

5 结论

(1)在构造运动和同沉积断层差异活动的控制下,黄河口凹陷发育了断裂坡折(断阶坡折、帚状坡折和断裂转换带坡折)和挠曲坡折 4 种类型的构造坡折带。不同类型构造坡折带对沉积体系具有明显控制作用,陡坡断阶坡折控制扇三角洲、近岸水下扇分布,缓坡断阶控制多期辫状河三角洲沉积;帚状坡折控制了沉积体系入湖方向、沉积厚度及沉积体系平面分布;断裂转换带控制了缓坡辫状河三角洲沉积及湖盆中心湖底扇沉积,挠曲坡折控制了渤中 29-35 构造带西侧辫状河三角洲沉积体系。

(2)不同构造坡折带背景发育不同类型的圈闭组合:断阶坡折带主要以断块型圈闭、岩性上倾尖灭圈闭为主,帚状坡折带发育掀斜断块圈闭,断裂转换带坡折以岩性上倾尖灭圈闭、断鼻—岩性圈闭为主,

挠曲坡折带以地层超覆圈闭、岩性上倾尖灭圈闭为主。

参 考 文 献 / References

陈发景,贾庆素,张洪年. 2004. 传递带及其在砂体发育中的作用. 石油与天然气地质, 25(2):143 ~ 148.
冯有良,李思田. 2001. 东营凹陷沙河街组三段层序低位域砂体沉积特征. 地质论评, 47(3):278 ~ 286.
冯有良. 2006. 断陷湖盆沟谷及构造坡折对砂体的控制作用. 石油学报, 27(1):13 ~ 16.
冯有良,徐秀生. 2006. 同沉积构造坡折带对岩性油气藏富集带的控制作用——以渤海湾盆地古近系为例. 石油勘探与开发, 33(1):22 ~ 25.
侯宇光,何生,王冰洁,倪军娥,廖远涛. 2010. 板桥凹陷构造坡折带对层序和沉积体系的控制. 石油学报, 31(5):754 ~ 761
李群,王英民. 2003. 陆相盆地坡折带的隐蔽油气藏勘探战略. 地质论评, 49(4):445 ~ 448.
林畅松,潘元林,肖建新,孔凡仙,刘景彦,郑和荣. 2000. “构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念. 地球科学, 25(3):260 ~ 266.
龙更生,施和生,王英民,杜家元,刘军,张晓宇,刘豪. 2009. 珠江口盆地惠州凹陷新近系坡折带成因类型及对地层沉积的控制作用. 石油与天然气地质, 30(2):215 ~ 222.
蒙启安,纪友亮. 2009. 塔南凹陷白垩纪古地貌对沉积体系分布的控制

制作用. 石油学报, 30(6):843~848.

姜秀芳, 宗国洪, 郭玉新, 李传华, 向立宏. 2002. 断裂坡折带低位扇成因及成藏模式. 石油与天然气地质, 23(2):143~155.

任建业, 陆永潮, 张青林. 2004. 断陷盆地构造坡折带形成机制及其对层序发育样式的控制. 地球科学, 29(5):596~615.

王英民, 金武弟, 刘书会, 邱桂强, 李群, 刘豪, 辛仁臣, 杨飞. 2003. 断陷湖盆多级坡折带的成因类型、展布及其勘探意义. 石油与天然气地质, 24(3):199~203.

王家豪, 王华, 肖敦清, 韦阿娟, 廖远涛. 2008. 伸展构造体系中传递带的控砂作用——储层预测的新思路. 石油与天然气地质, 29(1):19~25.

徐长贵, 赖维成, 薛永安, 于水, 程建春. 2004. 古地貌分析在渤海古近系储集层预测中的应用. 石油勘探与开发, 31(5):53~56.

向雪梅, 王华, 王家豪, 肖敦清, 蒲秀刚. 2011. 歧北凹陷古近系构造坡折带对圈闭的控制作用. 石油勘探与开发, 38(3):314~320.

余一欣, 周心怀, 汤良杰, 魏刚, 王应斌, 吕丁友. 2009. 渤海海域辽东湾拗陷正断层联接及其转换带特征. 地质论评, 55(1):79~84.

张宇. 2010. 渤南洼陷同沉积断裂构造坡折带对沉积的控制作用. 西

北大学学报(自然科学版), 40(5):860~865.

Brown L F, Jr Benson J M. 1995. Sequence stratigraphy in offshore South African divergent basins——An atlas on exploration for Cretaceous lowstand traps. AAPG Studies in Geology#41. Tulsa, Oklahoma, U. S. A: AAPG, 1~182.

Bryan D, Jason J. 2002. Tectonostratigraphy of the Nieuwerkerk Formation (Delfland subgroup), West Netherlands Basin. AAPG Bulletin, 86(10):1679~1709.

Hans E, Mandana H, Woligang S. 2002. Tectonic and climatic control of Paleogene sedimentation in Rhenodanubian Flysch basin (Eastern Alps, Austria). Basin Research, 14(7):247~262.

Pavelic D. 2001. Tectonostratigraphic model for the North Croatia and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System. Basin Research, 13(3):359~376.

Vincenzo P, Armando C, Peter I M, et al. 2006. Tectono-sedimentary analysis of a complex, extensional, Neogene basin formed on thrust-faulted, Northern Apennines hinterland; Radicofani Basin, Italy. Sedimentary Geology, 183(1/2):71~97.

Constraints by Tectonic Slope-break Zones on the Depositional Systems in Eogene in the Sag of the Yellow River Estuary

ZHANG Xintao¹⁾, ZHOU Xinhui¹⁾, NIU Chengmin¹⁾, LIU Hao²⁾, WEI Wenyan³⁾

1) Development Research Institute of Bohai Oil Field of Tianjin Branch, CNOOC Ltd., Tanggu, Tianjin, 300452;

2) China University of Geosciences, Beijing, 100083;

3) Oilfield Engineering Research Institute, CNOOC Energy Technology & Services, Tanggu, Tianjin, 300452

Abstract: The type and distribute of the slope-break zones control the depositional systems. Comprehensive analyses on the Paleogene sequence compositional types and sedimentary filling patterns. The research indicate: ① The affected by episodic rifting of the basin and differential subsidence of contemporaneous faults, two different structural slope-break types, including fault slope-break and flexure slope-break. fault slope-break include fault-terrace slope-break, “brush” slope-break and structurally regulated zone. ② The fault-terrace slope-break controlled the formation and distribution of fan delta sedimentary system in steep slopes and belt braided river delta sedimentary system in gentle slopes, “brush” slope-break control direction of lake and sedimentary thickness. structurally regulated zone controlled the sedimentary system of braided river delta and sublacustrine fan, flexure slope break controlled the braided river delta sedimentary system. ③ The tectonic slope-break zones controlled different types of trap combination. The fault-terrace slope-break controlled the fault flock trap, lithological pinchot trap; structurally regulated zone controlled lithological pinchot trap, fault-nose trap and lithological trap; flexure slope break controlled stratigraphic overlap trap. Different tectonic slope-break with the development of different types of traps combination direction for the next step in deep oil and gas exploration.

Key words: Sag of the Yellow River estuary; tectonic slope-break; structurally regulated zone; sand control pattern